

〔原著〕

四種の運動に関する運動連鎖の視点から見た熟練者と 未熟練者の動きの比較

齋 藤 健 治¹, 松 田 克 彦¹
佐 藤 菜穂子², 井 上 伸 一³

要 旨

バスケットボールの両手打ちシュート、空手の蹴上げ、バレーボールのスパイクおよびソフトテニスのサービスという四つの運動について熟練者と未熟練者の動作の違いを運動連鎖の視点で分析した。三次元動作解析装置を用いて計測した身体座標から、各部位の速度や関節運動の角速度を計算し、キネマティクスパターンを求めた。熟練者に共通したキネマティクスパターンは、最末端部、それが手、足、ラケットなら、その部位の速度が最大に到達する時刻近辺で、一つ近位の部位、つまり肘、膝、手の速度が急減して極小値を持つ点であった。一方、純粋な近位 - 遠位運動連鎖パターンは熟練者においても、必ずしも認められなかった。

キーワード：バスケットボールシュート、空手蹴上げ、バレーボールスパイク、テニスサーブ、近位 - 遠位運動連鎖パターン

はじめに

「運動連鎖」とは、ピンジョイントで結ばれた剛体リンクモデルの動きを表す kinetic chain という機械工学分野の語（概念）の訳といわれている [2, 20, 24]。この kinetic chain という語を、Steindler が身体運動学に導入したのをきっかけに、スポーツ科学、スポーツ医学、理学療法学などの分野で用いられるようになった [20]。

歯車やクランクなどの機械部品が運動の伝達や変換を行うのと同様に、人体におけるある一つの部位の動きが関節を通して他の部位、あるいは関節の動きに影響を及ぼす現象を表す言葉として用いられている。

山岸 [24] は、運動連鎖には①事前準備としてのもの、②同時に起こるもの、③経時的に運動を受け渡していくもの、とタイミングの点で分類しているが、上記の「伝達」という視点で

1 名古屋学院大学 スポーツ健康学部

2 名古屋学院大学 リハビリテーション学部

3 佐賀大学 教育学部

Correspondence to: Kenji Saitou

E-mail: saiken@ngu.ac.jp

Received 21 July, 2020

Revised 25 August, 2020

Accepted 26 August, 2020

いえば、③の経時的に運動を受け渡していくものが最も近い概念で、多くのスポーツパフォーマンスもこの視点で分析されている。とくに野球の投動作は、「ムチ動作」「ムチ運動」という表現が用いられることもあり、それは、より末端セグメントのスピードを上げることで投球スピードを上げるためや、一部の関節に偏った負担を減らして障害を防止するために必要な運動といわれている [6, 13, 17, 18, 25]。そして、このムチ運動は、体幹や肩といった、より近位のセグメントが生成するトルクに起因する運動依存トルクにより起こる肘関節や手首の運動で説明できることが、モデルを用いた計算で明らかにされている [4]。

一方、他のスポーツパフォーマンス分析においても、運動連鎖の視点で、運動の善し悪しが分析されている [3, 5, 7, 8, 9, 12, 14, 15, 16, 19, 21, 22]。とくに、野球、ハンドボールなどの投動作やテニスのサービス動作、バレーボールのスパイクやサービス動作では、腕を振る運動という点で共通しており、このようなムチ運動は近位 - 遠位運動連鎖パターン (PD連鎖) と呼ばれている [13]。

本研究では、バレーボールのスパイク、ソフトテニスのサービスといった腕振りによるスイング系の運動に加え、バスケットボールの両手打ちシュート、空手の蹴上げについて、運動連鎖あるいはPD連鎖の視点で、熟練者と未熟練者の比較を行った。

方法

1. 実験参加者

対象は、成人女子5名 (22歳、右利き) であり、内訳はバスケットボール2名 (競技歴13年と12年)、空手1名 (競技歴11年)、バレー

ボール1名 (競技歴16年)、ソフトテニス1名 (競技歴12年) であった。実験に際して、参加者に、検査結果を含む個人情報の保護を保障すること、得られた結果は研究以外に使用しないことを口頭および書面にて説明し、同意を得た。

2. 実験試技

試技は、バスケットボールの両手打ちシュート動作、空手の蹴上げ動作、バレーボールのスパイク動作、ソフトテニスのサーブ動作の四種類とし、参加者全員が全ての試技を実施した。したがって、バスケットボールの両手打ちシュート動作は熟練者2名、未熟練者3名、空手の蹴上げ動作は熟練者1名、未熟練者4名、バレーボールのスパイク動作は熟練者1名、未熟練者4名、ソフトテニスのサーブ動作は熟練者1名、未熟練者4名という試技者の構成になった。

バスケットボール、バレーボール、ソフトテニスの試技は、実験室スペースの制約のため、ボールを用いない動作とした。ソフトテニスではラケットを用い、バレーボールでは、スパイクの打点と想定される高さにスパイク目標点を設定した。

3. 計測

実験参加者の身体46箇所に反射マーカーを貼付した (図1)。貼付部位は以下の通りである。これ以外に、バレースパイク打点の目標物、テニスラケットにもマーカーを貼付した。

上記の試技を、10台のカメラに囲まれたスペース内で実施し、三次元動作解析装置 (Vicon motion systems社製、VICON, サンプリング周波数200Hz) を用いて計測した。静止座標系は運動方向 (前後方向) をy, 上下方向をz, 左右方向をxとした。

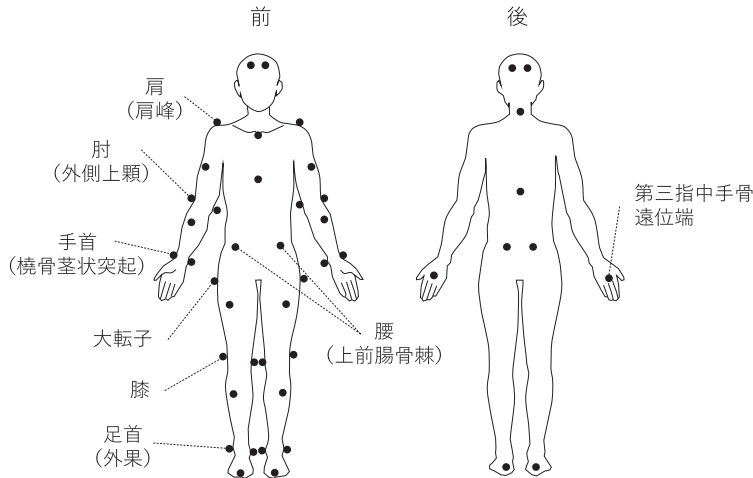


図1 三次元動作解析のための反射マーカ貼付部位 (46箇所). と計算に用いた主たるマーカ部位名 (右).

4. 分析

計測した三次元座標値を元に、グラフィカルプログラミング言語LabVIEWを用いて、速度と角速度を求めた。

右の手 (第三指中手骨遠位端)、手首、肘 (上腕骨外側上顆)、肩 (肩峰)、腰 (上前腸骨棘)、大転子、膝 (大腿骨外側上顆)、足首 (外果) の速度成分 (V_x , V_y , V_z)、および合成速度 V を計算した。さらに、手首の掌背屈、肘関節の屈曲伸展、肩部の回旋、腰部の回旋、股関節の内転、膝関節の屈曲伸展の角速度を求めた。これらのうち、手首の掌背屈、肘関節の屈曲伸展、股関節の内転、膝関節の屈曲伸展は回転軸の方向が変化しない単軸の関節運動とみなして角速度を求めた。また、肩部および腰部の回旋運動は、それぞれ肩峰点の右から左に向かうベクトルの回旋、上前腸骨棘点の右から左に向かうベクトルの回旋を水平面に投影して角速度を求めた。なお、蹴上げ試技では屈曲伸展、内外転の角速度は蹴り側で求めた。

上記の分析データについて、動作局面の中でポイントとなる時刻を基準に前後0.4秒間を分

析対象とした。すなわち、バスケットボールの両手打ちシュートでは、ボールリリース後の肘関節の最大伸展時、空手の蹴上げでは、蹴り側膝関節の最大伸展時、バレーボールのスパイクでは、ボールに見立てた目標物の打撃時、ソフトテニスのサービスでは、スイング腕の肘関節最大伸展時を基準に前後0.4秒ずつ、計0.8秒間について分析した。

結果

以下では、それぞれの種目における熟練者、未熟練者の各部位合成速度、関節運動角速度の0.8秒間の時系列波形 (キネマティクスパターン) と、それらから抽出した、部位毎の最大値時刻と最大値のグラフを示した。また、熟練者A (種目毎に異なる個人) の合成速度と角速度の時系列波形グラフの上には、実際の動作との関連づけがしやすいように、スティックピクチャを示した。

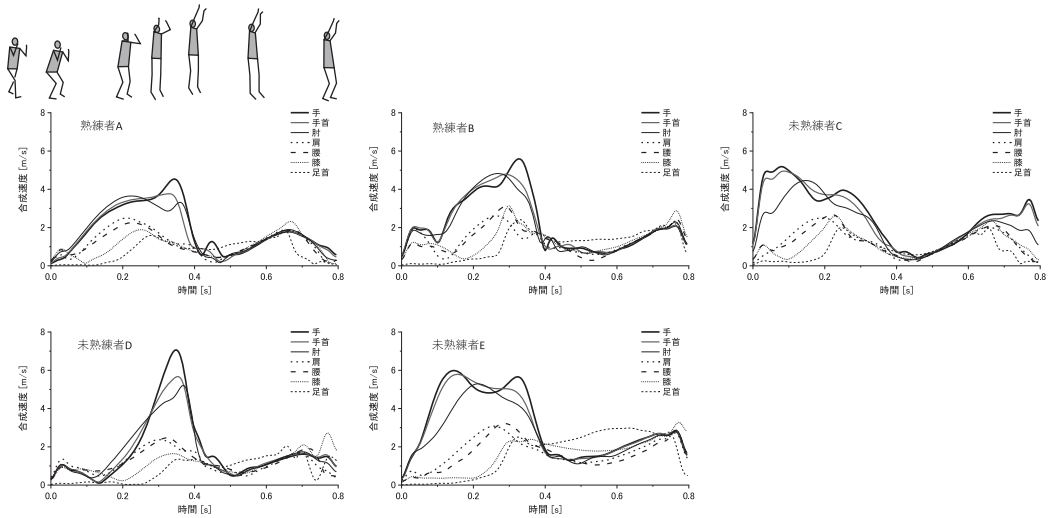


図2 バスケット両手打ちシュート動作時の各ポイントの合成速度。時刻0.4秒は、ボールリリース後に見られる肘関節の最大伸展時にあたる

1. バスケットボールの両手打ちシュート動作

熟練者A, Bでは、0.4秒以前のボールリリース近辺で、手の速度が急増しその後急激に減少しているのに対し、未熟練者C, Eは上肢が先行して速度を増大させ、リリース近辺では逆に低下傾向であるのが特徴的であった(図2)。未熟練者Dは、手の速度が最も大きかったが、熟練者A, Bに比して半分の約0.2秒間で瞬発的に急激な増大を示した。

また、熟練者の二人は、手や手首の速度が肩や腰の速度に加算的に変化している点で共通していたのに対し、未熟練者、とくにCとDは、体幹・腰部の速度と独立して手の速度が生じており加算的でない点で熟練者と異なっていた。

関節運動の角速度では、膝の伸展に続いて、手首の掌背屈あるいは肘の伸展が起きている点では全者共通していた(図3)。熟練者A, Bに特徴的なのは、ボールリリース後の手首の掌屈運動が大きい点であった。未熟練者C, D, Eは、リリース前のボールを両手で挟み込むことによる手首の背屈は見られたが、ボールをは

じき出したことによるリリース後の掌屈運動(図中0.4秒あたりの負の角速度)はほとんど見られなかった。

部位毎の合成速度の最大値をとった時刻には、熟練者と未熟練者の間で違いが顕著であった(図4)。熟練者においては肩を起点として肘、手首、手へと、および肩を起点として腰、膝、足首へと伝播するパターンが認められたが、未熟練者C, Eにおいては、手を起点として、手首、肘、肩、腰、膝、足首へというパターンが認められた。最大値は、個人差はあるものの、部位全体で見るパターンとしては共通していた。つまり、最大値で見た部位間の速度、関節間の角速度の相対的關係は概ね全参加者で共通していた。

2. 空手の蹴上げ動作について

膝関節が最大伸展するタイミング(0.4秒近辺)で足首の速度が急激に低下し、膝関節の屈曲にともない再び速度が増加する双峰性を示している点で全者共通していた(図5)。また、

四種の運動に関する運動連鎖の視点から見た熟練者と未熟練者の動きの比較

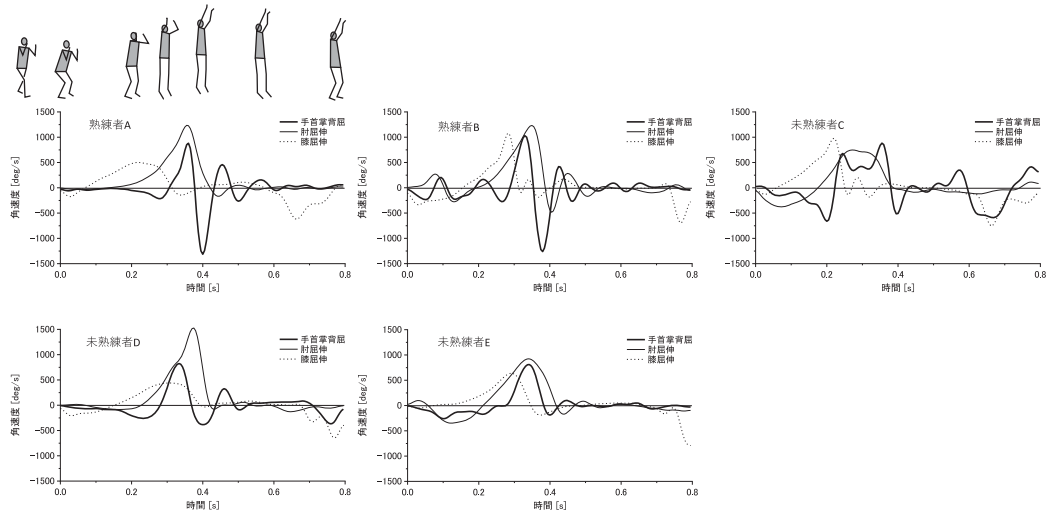


図3 バスケット両手打ちシュート動作時の関節運動の角速度。時刻0.4秒は、ボールリリース後に見られる肘関節の最大伸展時にあたる。

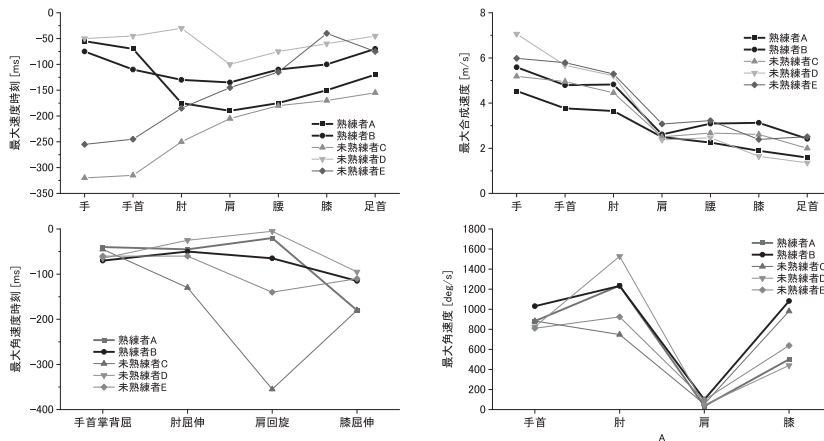


図4 バスケット両手打ちシュート動作時の各ポイントの合成速度と関節運動の角速度の最大時刻と最大値。最大時刻は両肘最大伸展時からさかのぼる時間 [ms] を負値で表している。

熟練者Aにおいて足首の速度が大きいわけでもなかった。ただし、熟練者Aにおいては、蹴上げ前の膝関節伸展と蹴上げ後の膝関節屈曲運動による足首の速度変化が大きかった（この点では未熟練者Eも同様であったが）。また、熟練者Aにおいては、0.4秒前後で大転子の速度が大きくなることも特徴的であった。つまり、未

熟練者は単なる脚の振り上げと、膝の曲げ伸ばしの動作であるのに対し、熟練者は腰部の動きも利用した脚の蹴上げスイングになっているという違いが認められた。

膝関節の屈曲伸展運動では、熟練者Aにおいて（未熟練者Eも同様であるが）、とくに蹴上げ後の膝関節の屈曲時間が短かった（図6）。

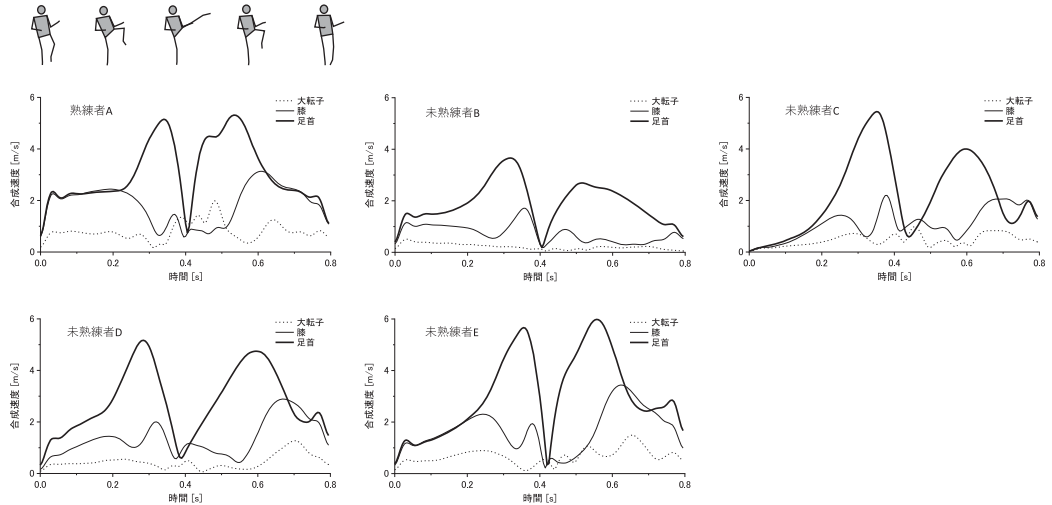


図5 空手の蹴上げ動作時の各ポイントの合成速度. 時刻0.4秒は、蹴り脚膝関節の最大伸展時にあたる。

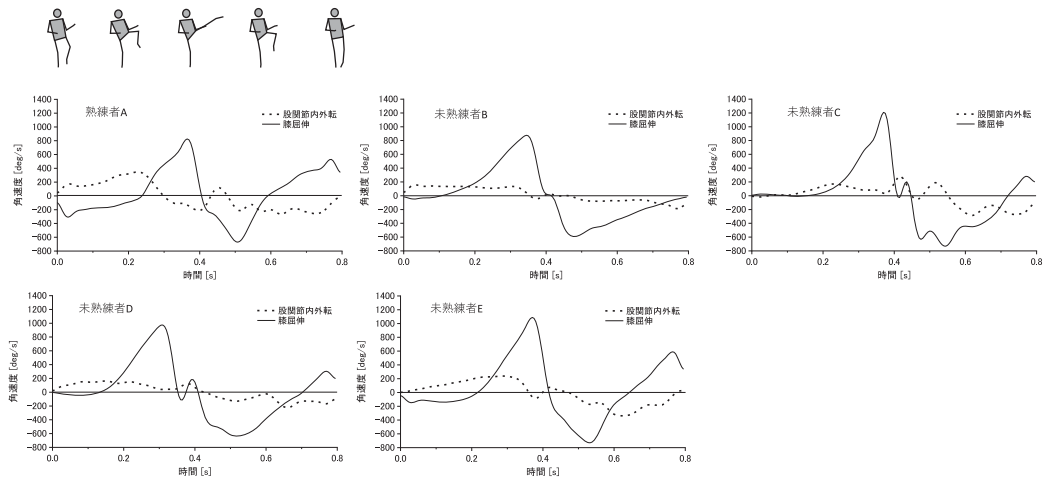


図6 空手の蹴上げ動作時の関節運動の角速度. 時刻0.4秒は、蹴り脚膝関節の最大伸展時にあたる。

また、膝伸展から屈曲への切り返しでは、運動の停滞やブレがなくスムーズに運動が繋がられていることも特徴的であった（未熟練者Eも同様）。また、膝関節の伸展が始まる前の股関節外転の角速度が、熟練者Aにおいて大きめである特徴も認められた。

部位毎の合成速度の最大値をとった時刻には、熟練者と未熟練者の間で違いが顕著であった（図7）。熟練者は膝が起点となり、足首、

そして最後に大転子の速度が上がったが、多くの未熟練者は大転子、すなわち殿部から動き始め、最後に膝の速度が上がった。

3. バレーボールのスパイク動作について

熟練者Aにおいては、インパクト近辺での手と手首の速度が大きく、さらに、それに先行する局面において肘の速度が大きい点が特徴的であった（図8）。熟練者の肘の速度が、インパ

四種の運動に関する運動連鎖の視点から見た熟練者と未熟練者の動きの比較

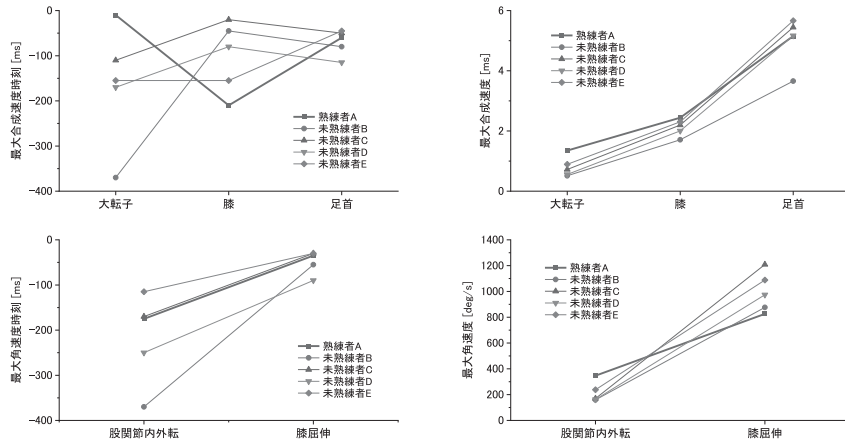


図7 空手蹴上げ動作時の各ポイントの合成速度と関節運動の角速度の最大時刻と最大値。最大時刻は両肘最大伸展時からさかのぼる時間[ms]を表している。

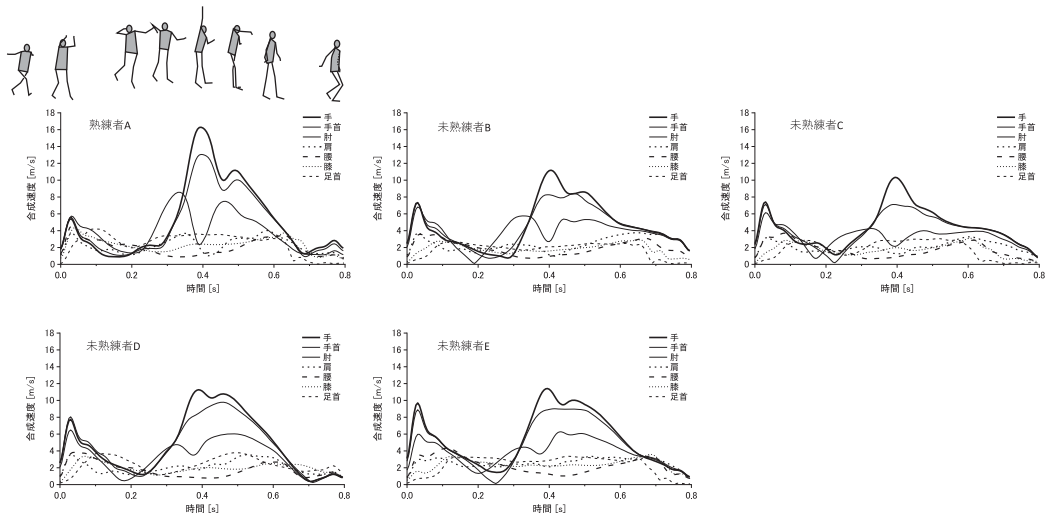


図8 バレーボールスパイク動作時の各ポイントの合成速度。時刻0.4秒は、目標物打撃時にあたる。

クト近辺で手と手首の速度が急激に増大するのに合わせて、急激に低下する点も顕著であった。未熟練者B, C, D, Eにおいては、インパクト前0.4～0.3秒のジャンプ動作にともなう腕振り運動の速度は大きいものの、インパクト近辺では肘、手首、手の速度は小さく、スパイクのための腕振り速度が十分上がっていなかった。また、手と手首の速度増大に合わせた肘の速度減少の程度は弱かった。

関節運動の角速度では、肩の回旋に続き、肘関節の伸展、そして手首の掌屈という運動でとくに肘関節の伸展角速度が際だって大きいことが熟練者Aの特徴であった。また、未熟練者に比して肩の回旋角速度がインパクト近辺で急激に低下する特徴も見られた。それに対し、未熟練者B, C, D, Eにおいては同様の運動連鎖を示す中で、肘の伸展角速度が十分大きくない傾向が見られた(図9)。

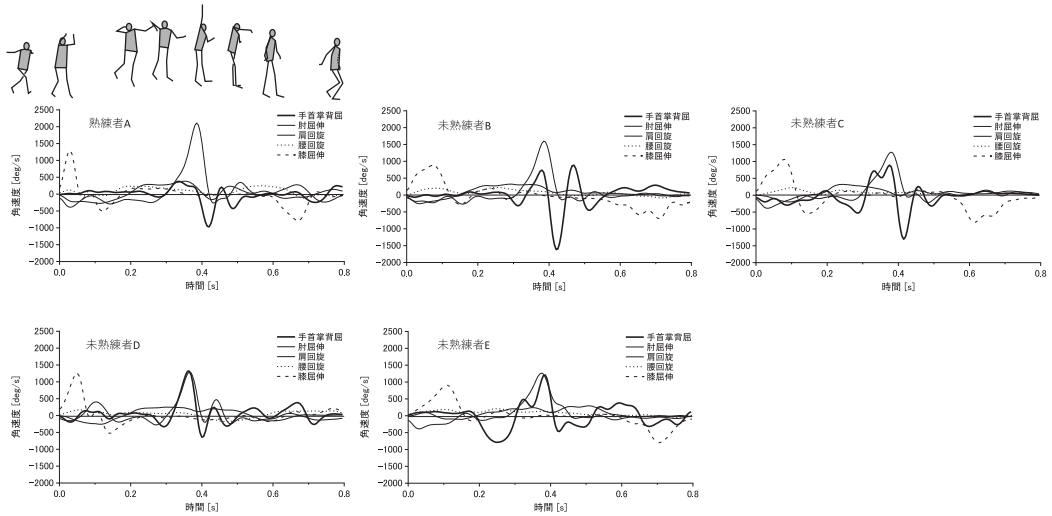


図9 バレーボールスパイク動作時の関節運動の角速度。時刻0.4秒は、目標物打撃時にあたる。

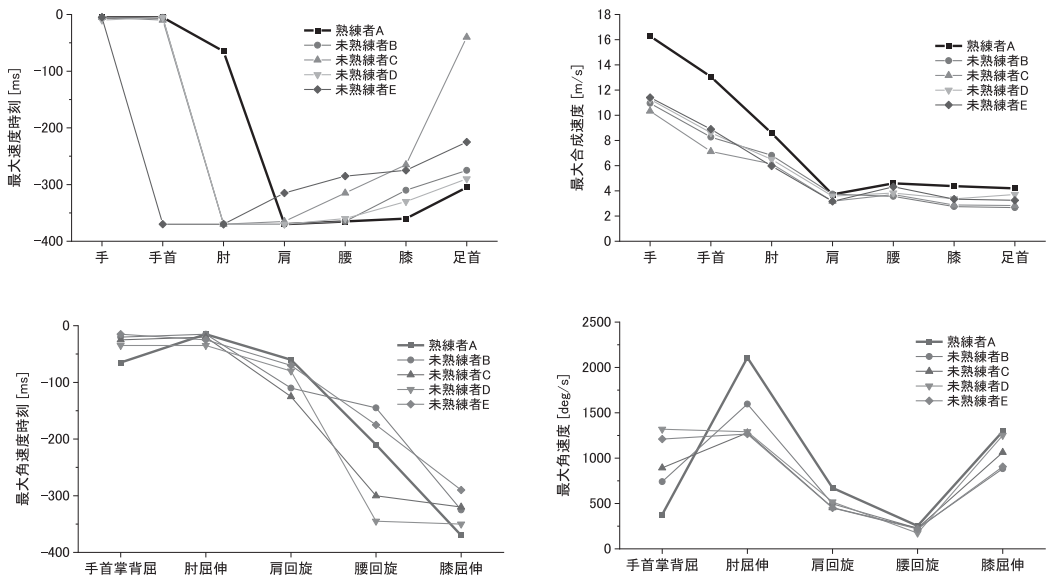


図10 バレーボールスパイク動作時の各ポイントの合成速度と関節運動の角速度の最大時刻と最大値。最大時刻は両肘最大伸展時からさかのぼる時間 [ms] を表している。

各部位の速度，関節運動の角速度の最大値については個人差が見られるものの，部位間，関節間の相対的な大小関係は同様な傾向であった(図10)。また，合成速度，関節角速度ともにその最大値は，熟練者において大きかった。一方，最大速度が現れる時刻は熟練者Aにおいて

肩，腰，膝が早く，肘から先はボールインパクトの直前で大きくなるのに対し，未熟練者では手首や肘が早い段階で最大値に到達する傾向が見られた。これは，インパクト直前に手首や肘の速度が十分に増大していないことの現れでもある。

四種の運動に関する運動連鎖の視点から見た熟練者と未熟練者の動きの比較

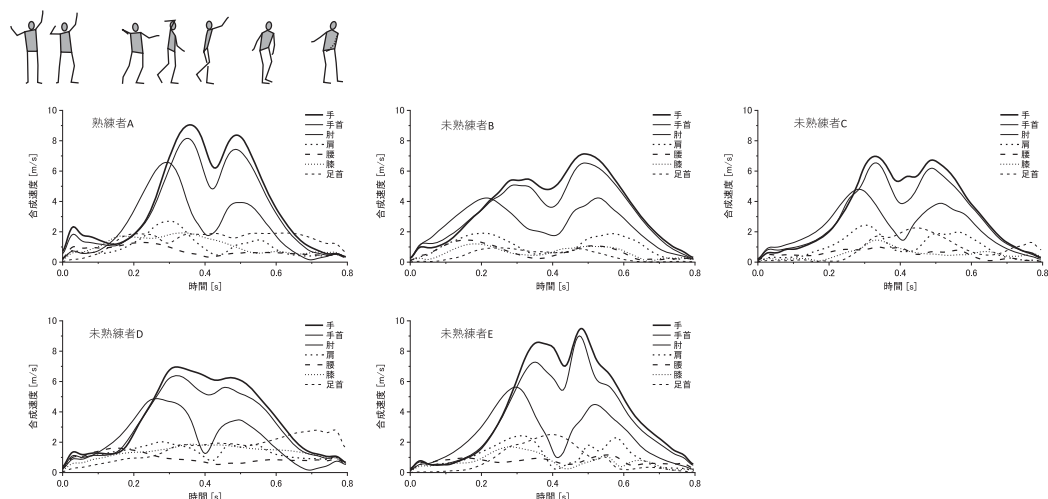


図11 ソフトテニスサーブ動作時の各ポイントの合成速度. 時刻0.4秒は、肘関節の最大伸展時にあたる.

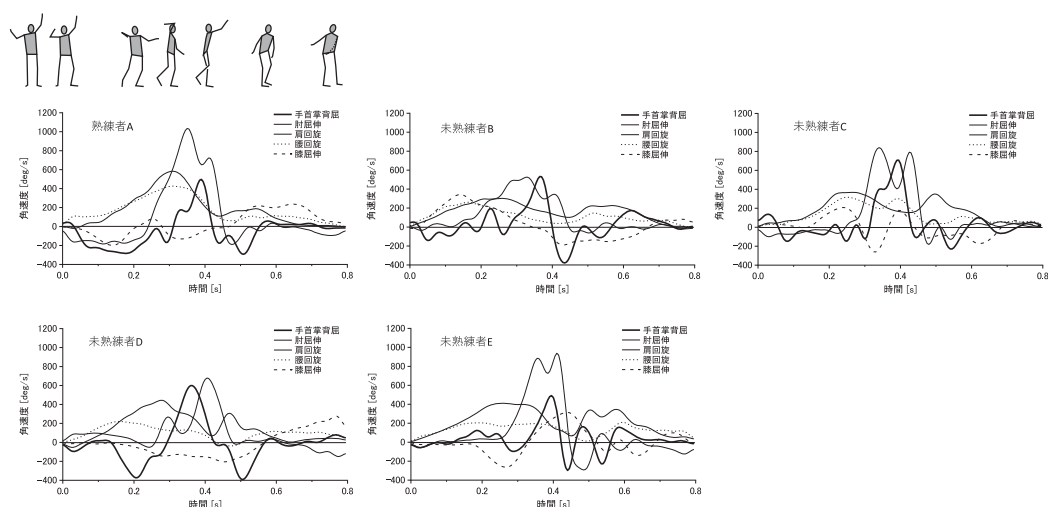


図12 ソフトテニスサーブ動作時の関節運動の角速度. 時刻0.4秒は、肘関節の最大伸展時にあたる.

4. ソフトテニスのサーブ動作について

ラケット先端の合成速度は熟練者Aおよび未熟練者B, C, D, Eは、それぞれ33.8 m/s, 22.6 m/s, 26.5 m/s, 24.7 m/s, 29.3 m/sであった。

熟練者、未熟練者に関わらず肘の速度が増大した後、手首と手の速度がほぼ同時に増大していた(図11)。概ねインパクト時刻と考えられる0.4秒では、肘の速度が低下している点も共

通していた。ただし、熟練者Aでは、その変化が明確で、インパクト前の速度の方が大きかったのに対し、未熟練者では、速度の増大・減少が不明瞭であったり、インパクト後の速度の方が大きかったりした。

関節運動では、1名の未熟練者を除き、肩の回旋、肘の伸展、手首の背屈という順で角速度が最大を迎える点が共通していた(図12)。ま

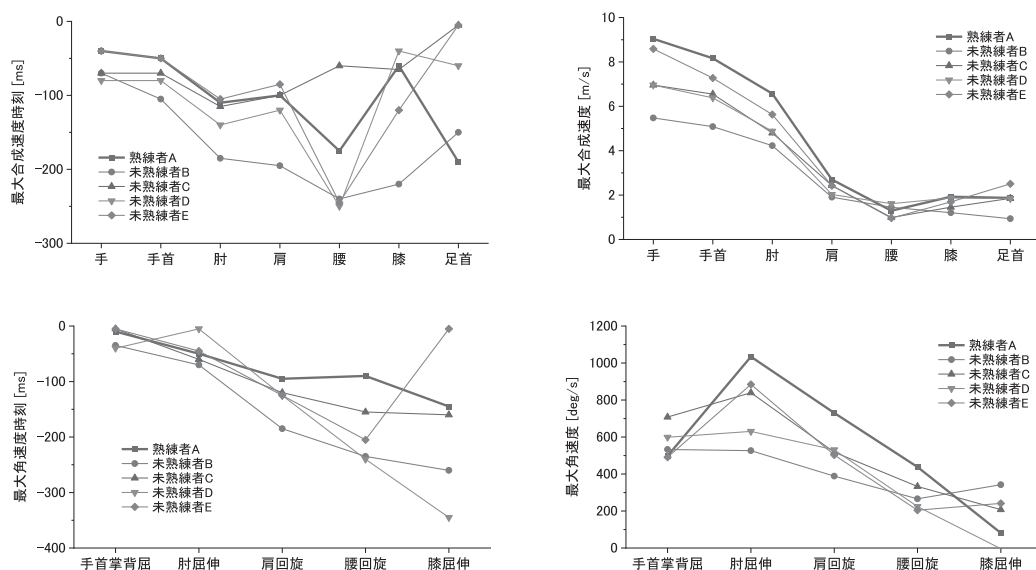


図13 ソフトテニスサーブ動作時の各ポイントの合成速度と関節運動の角速度の最大時刻と最大値。最大時刻は両肘最大伸展時からさかのぼる時間 [ms] を表している。

た、肘の伸展角速度が一端低下するタイミングで手首の掌屈角速度が最大を迎える点でも共通していた。ただし、未熟練者では、手首の掌屈運動を強めに使う（角速度が大きい）傾向が見られた。熟練者Aと未熟練者Eは関節運動パターンが比較的類似していたが、熟練者ではインパクト前の腰と肩の回旋、肘の伸展角速度が大きかった。

各部位の速度、関節の角速度の最大値については個人差が見られるものの、部位間、関節間の相対的な大小関係は同様な傾向であった（図13）。また、合成速度、関節角速度ともにその最大値は、熟練者において大きかった。

考察

1. バasketボールの両手打ちシュート動作

三浦他 [15] は、Basketボールのワンハンドシュートにおいて、身体各部位の速度ピーク時刻の遷移が（ボールを除外すると）、肘・

手首→肩→腰→膝→足首→手首→肘という順で見られたとしている。その中で、肩、腰、膝、足首はジャンプ動作の早い段階で速度が上昇し、リリースに向けて減速するのに対し、肘、手首は、体幹・下肢が減速するのに合わせて速度が再度増大する、と説明している。本研究の両手打ちシュートでも、熟練者の動きは同様であったのに対し、未熟練者はリリースに向けて、肘や手首の速度増大が不十分なため、速度ピークの時間遷移で見ると、手や肘が他の部位に先行する結果となった。また、下肢の運動を上肢にどのようにつなげるか [16] という視点や、SSC (Stretch-shortening cycle) を利用した手首のスナップ速度の増大を狙った視点での研究 [5] が報告されているが、本研究でも同様に、とくに熟練者において、速度の加算やリリース前の減速、スナップ動作（手首の掌背屈角速度）がよりはっきりと確認できた。

2. 空手の蹴上げ動作

高橋 [21] は、空手の蹴上げの需要ポイントの一つとして、膝関節によるスナップ動作と腰部の押し出し（腰のバネ）を挙げている。本研究の熟練者は、足首の速度が未熟練者に比して短い時間で増大することや膝関節の屈曲伸展角速度が大きな時間が未熟練者より短く、インパクト前後で大転子の速度が比較的大きいことなどから、高橋 [21] が指摘するような動作が実現されているといえる。未熟練者の中でEのみ、足首の速度変化や膝関節の屈曲伸展の角速度変化が熟練者Aと類似していたが、インパクト前後での大転子の速度が小さいこと、つまり腰部の押し出しはできていなかったといえる。

3. バレーボールのスパイク動作

世界トップレベルのバレーボール選手のスパイク動作を調べた増村・阿江 [12]、黒川他 [9] は、強い打撃のため、あるいは手や手首の速度を上げるための肩や体幹のひねり動作などの使い方について言及している。手や手首の速度は本研究においても熟練者が未熟練者に比して大きな値を示しており、強いスパイクを打つための必要条件であることがわかる。また、そのために体幹のひねり動作（あるいはひねり戻し動作）が必要であると考えられるが、本研究では、むしろインパクトに向けて、肘の速度、肩の回旋速度が十分減速すること、その直後に肘の伸展角速度を十分増大させるムチ運動が熟練者の技術として認められた。熟練者の手首の掌屈運動はインパクト後に見られる程度で、したがってインパクト前の背屈による反動運動は用いず、むしろ、インパクトに向けて手首を固定する動きが未熟練者より強いことがうかがえる。鳥山他 [22] が、センタースパイクにおいてブロックを抜くためには、手首の速度よりム

チ動作の獲得に視点を置いた方がいいと述べており、本研究における熟練者の上肢の使い方がこれに近いといえる。

4. ソフトテニスのサービス動作

本研究におけるソフトテニスのサービスは、トスアップと同時に脚部の屈伸運動（跳躍運動）が入るタイプではなく、サービス方向に軽くステップするのみの運動であったため、先行研究で分析されたサービス動作 [3, 8, 14, 19] と下肢の動きは異なっていた。しかしながら、道上 [14]、林 [3] が指摘しているインパクト直前に見られる急激な肘関節伸展動作は、本研究における熟練者の特徴でもあり、投動作や前述のスパイク動作と同様、スイング系動作におけるインパクト直前での重要な動作であるといえる。一方で、小池・石川 [8]、村田他 [19] は、ラケット速度増大のための鍵となる運動は肩関節の内外旋運動や水平内外転運動であり、肘関節伸展運動は貢献度が小さいとしている。しかしながら、肘関節の伸展による上肢関節角度の調節によりエネルギーの流出入効率を上げるであろうことから [19]、重要な動作であることには違いない。

5. 熟練者の動作とPD連鎖

本研究で対象とした運動は、一つの投運動と三つの打運動であった。また、投運動（両手打ちシュート）は基本的に左右対称運動であるのに対し、三つの打運動は左右非対称な運動であった。また、打運動のうち、バレーボールのスパイクとソフトテニスのサービスは、腕を振るスイング系の運動という点で共通しており、ボール投げの投運動に類似していた。このように、視点によって種々分類できる四つの動作である中で、共通したキネマティクスパターンは、

最末端部、それが手、足、ラケットなら、その部位の速度が最大に到達する時刻近辺で、一つ近位の部位、つまり肘、膝、手の速度が急減して極小値を持つ点であり、そして、その現象が本研究でのインパクト時刻近辺で、かつ相対的に短時間で起こっていた点である（テニスラケットの先端速度はグラフに示していないが、手よりもかなり大きい値の単峰性のピークを持つ速度変化であった）。

テニスのサービス動作やハンドボール投げ、陸上競技のやり投げ、野球の投球といったスイング系動作において、競技レベルが高くても、必ずしもそのキネマティクスパターンにPD連鎖は見られないという報告がある [1, 10, 11, 23]。とくに、ムチ運動といわれるスイング動作において、肘関節の伸展運動が肩の内旋運動に先行して現れる、あるいは最大速度に到達する時刻が、肩関節より遠位にある肘関節の方が先になるといった報告である。本研究においても、空手の蹴上げ、およびソフトテニスのサービス動作における合成速度に、近位部より遠位部（腰より膝、および肩より肘）の速度が先に最大に到達する動作が認められた。近位から遠位へと最大速度時刻が遷移していくのがPD連鎖であるが、元来、二次元の視点での概念であるため、三次元運動にそのまま当てはまらないことがあるのは当然といえる。

仮に、肘関節が球関節のような多軸関節であれば、遠位部が近位部より先に最大速度に到達することはないと考えられる。現実には、肘関節が単軸関節であることと、肘関節伸展時には尺骨肘頭が上腕骨肘頭窩に収まって伸展が止まる（過伸展が起こらない）ことから、必然的に肩関節の外旋・内旋運動を利用してムチ運動を実現しなければならなくなる（肘関節が前述の多軸関節であれば、肩の外旋・内旋運動は必要

ない）。つまり、肩の内旋運動途中で肘関節伸展を完了し、上肢長軸まわりの慣性モーメントが最小になった後、慣性により肩の内旋運動の角速度が最大を迎える（さらに内旋が継続する）。そして、単純なムチ運動であれば肘関節の過伸展を引き起こさないとはいえないその後の局面において、肩関節内旋の影響で肘頭の向きが側方から後方に移動することにより起こる肘関節の屈曲運動が、過伸展の代わりとなる。ここでは、遠位（肘）の運動が近位（肩）の運動に先行しているが、上述の空手の蹴上げやテニスのサービスの例と同様、熟練者の動作では、運動方向への速度を増大する過程（エネルギーの伝達を増大する過程）において、その伝達効率を最大化するため、関節の構造的拘束下で最適な姿勢（肢位）を完成させる遠位の運動がポイントになっているといえる。このように、三次元キネマティクスパターン観察下ではPD連鎖の逆転も起こりうるため、運動の善し悪しを評価する上では、二次元的なPD連鎖という視点での運動連鎖に囚われないことが重要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり主として実験の補助を担当してくれた、5名の学生（18S0021 伊東 冴, 18S0078 齋藤里華, 18S0086 篠田美優, 18S0133 早川菜月, 18S0158 松原安佑）に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Fradet L., Botcazou M., Durocher C., Cretual A., Multon F., Prioux J. and Delamarche P. (2004) Do handball throws always exhibit a proximal-to-distal segmental sequence?, J.

- Sports Sci., 22: 439-447.
- [2] 藤澤宏幸 (2014) 運動連鎖と理学療法, 理学療法, 31 (8): 780-787.
 - [3] 林準平・黒田岳志・西島吉典 (2018) 三次元解析を用いたテニスのサービス速度を高める動作要因の検討, 太成学院大学紀要, 20: 101-110.
 - [4] Hirashima, M., Yamane, K., Nakamura, Y. and Ohtsuki, T. (2008) Kinetic chain of overarm throwing in terms of joint rotations revealed by induced acceleration analysis, J. Biomech., 41: 2874-2883.
 - [5] 入江史郎・和泉憲昌・村松茂 (2010) バスケットボールにおけるロング・スリー・ポイント・シュートの動作分析—Tスタイル・シュートの重心移動を中心に—, 神奈川体育学会機関誌体育研究, 43: 6-10.
 - [6] 岩迫基樹・林豊彦・田中洋・乾浩明・信原克哉 (2016) 投球動作の運動連鎖における「胸の張り」および関節運動の機能分析, バイオメカニズム, 23: 141-150.
 - [7] 川合武司・小林一敏 (1980) 腕の振りからみたバレーボールのスパイク動作, 体育の科学, 30 (7): 509-514.
 - [8] 小池関也・石川達也 (2011) テニスサーブのムチ動作, 体育の科学, 61 (7): 491-496.
 - [9] 黒川貞生・森田恭光・亀ヶ谷純一・加藤浩人・松井泰二・鈴木陽一・矢島忠明 (2008) 世界トップレベル・バレーボール選手のスパイク動作特性, 明治学院大学教養教育センター紀要, 2 (1): 23-30.
 - [10] Liu H., Leigh S. and Yu B. (2010) Sequences of upper and lower extremity motions in javelin throwing, J. Sports Sci., 28(13): 1459-1467.
 - [11] Marshall R.N. and Elliott B.C. (2000) Long-axis rotation: The missing link in proximal-to-distal segmental sequencing, J. Sports Sci., 18: 247-254.
 - [12] 増村雅尚・阿江通良 (2007) 空中でボールを強く打つためのからだの動き—バレーボールにおける打動作の分析—, バイオメカニクス研究, 11 (3): 213-219.
 - [13] 松尾知之 (2011) ムチ動作の意義—キネマティクスからエナジェティクス—, 体育の科学, 61 (7): 477-483.
 - [14] 道上静香 (2014) 世界一流男子テニス選手のファーストサービス動作のキネマティクスの分析, 彦根論叢, 399: 114-131.
 - [15] 三浦健・三浦修史・松岡俊恵 (2001) バスケットボールにおけるジャンプシュートの動作分析—2ポイント・シュートと3ポイント・シュートの比較—, 鹿屋体育大学学術研究紀要, 25: 1-8.
 - [16] 三浦健 (2009) バスケットボールのシュート距離を伸ばすためのスナップ動作の一例, スポーツパフォーマンス研究, 1: 38-41.
 - [17] 宮西智久 (2012) オーバーハンド投げのバイオメカニクス—“ムチ投げ”の野球の投球動作研究—, 体育の科学, 62 (5): 361-367.
 - [18] 宮下浩二 (2014) 運動連鎖からみた投球障害と理学療法, 理学療法, 31 (8): 798-806.
 - [19] 村田宗紀・藤井範久・鈴木雄太 (2015) 硬式テニスサーブにおけるエネルギー形態に着目したラケット保持腕の力学的エネルギーフロー, 体育学研究, 60: 177-195.
 - [20] 佐藤洋一郎 (2011) 運動連鎖とエビデンス, 理学療法の歩み, 22 (1): 17-25.
 - [21] 高橋俊介 (1984) 空手道基本技指導について (順突と横蹴上げの欠点と矯正), 駒澤大学保健体育部研究紀要, 6: 66-72.
 - [22] 鳥山大輔・布村忠弘・堀田朋基 (2017) バレーボールのスパイク動作におけるバイオメカニクスの研究, 人間発達科学部紀要, 11 (2): 73-82.
 - [23] van den Tillaar, R. and Ettema, G. (2009) Is there a proximal-to-distal sequence in overarm throwing in team handball?, J. Sports Sci., 27(9): 949-955.
 - [24] 山岸茂則 (2011) 運動連鎖とは? 嶋田智明・大峯三郎・山岸茂則編 運動連鎖～リンクする身体, pp. 2-11, 文光堂.

- [25] 矢内利政（2011）投球動作における体幹（骨盤・胸郭・肩甲骨）の3次元ムチ運動，*体育の科学*，61（7）：484-490.

[Original Article]

Comparison between skilled and unskilled players from the viewpoint of kinetic chain about four types of movements

Kenji Saitou¹, Katsuhiko Matsuda¹

Nahoko Satoh², Shin-ichi Inoue³

Abstract

The differences between skilled and unskilled players were analyzed from the viewpoint of kinetic chain observed as kinematic pattern during four types of movements such as basketball double-handed shoot, karate kicking up, volleyball spike and soft tennis service. The kinematic patterns were constructed with the resultant velocities of some body points and the angular velocities of some joint movements that were calculated from the three-dimensional coordinates measured using three-dimensional motion analysis system. Common kinematic patterns, which the velocities of the proximal portions such as elbow, knee and hand had a local minimum at around the time of the maximal values for velocities about most distal portions such as hand, foot and racket, were found in skilled players movements. On the other hand, proximal-to-distal sequence movement patterns were not always found in skilled players.

Key words: basketball double-handed shoot, karate kicking up, volleyball spike, tennis service, proximal-to-distal sequential movement pattern (PD pattern)

1 Faculty of Health and Sports, Nagoya Gakuin University

2 Faculty of Rehabilitation Sciences, Nagoya Gakuin University

3 Faculty of Education, Saga University